

Streszczenie

Nonlinearity shaping in specialty tellurite glass optical fibers

by Tanvi KARPATE

Niniejsza rozprawa zawiera omówienie wyników badań nad mikro- i nanostrukturalnymi światłowodami wykonanymi ze szkła tellurowych. Włókna te zostały zaprojektowane w celu badania nieliniowej propagacji impulsów femtosekundowych. Wszystkie opisane światłowody specjalne zostały zaprojektowane, opracowane i scharakteryzowane pod kątem kształtowania ich nieliniowości w celu uzyskania szerokiego odstrojenia solitonu w zakresie podczerwonych fal krótkofalowych (short-wave infrared - SWIR), generowania i analizy superkontinuum o niskim poziomie szumów oraz przekształcania ultrakrótkich impulsów laserowych w dziedzinie czasu. Możliwości kształtowania warunków propagacji impulsów laserowych we włóknach światłowodowych były badane na trzy sposoby; poprzez modyfikację dyspersji chromatycznej włókna, poprzez pomiary nieliniowej dynamiki propagacji światła we włóknie oraz przez wybór i optymalizację materiałów włókna. Rozprawa jest skoncentrowana na długofalowym zakresie bliskiej podczerwieni (SWIR) i dlatego wybrana platforma materiałowa do realizacji wszystkich projektów światłowodów w pracy to miękkie szkła tellurowe. Charakteryzują się one wysoką transmisją w tym zakresie długości fali i silną odpowiedzią nieliniową, która umożliwia osiągnięcie nieliniowej dynamiki za pomocą komercyjnych standardowych laserów femtosekundowych.

Pierwszym wynikiem badań zaprezentowanym w tej rozprawie jest szerokopasmowe (68,5 THz) odstrojenie solitonu które zostało osiągnięte przy użyciu włókna z zawieszonym rdzeniem. Włókno ze szkła tellurowego zostało zaprojektowane z kryterium osiągnięcia możliwie płaskiej anomalnej dyspersji chromatycznej, aby uzyskać przestrojenie częstotliwości solitonu z wykorzystaniem zjawiska rozpraszania Ramana. Ułatwiło to osiągnięcie szerokiego zakresu odstrojenia solitonu od centralnej długości fali lasera pompującego z zastosowaniem relatywnie krótkich odcinków światłowodu. Rozwiązanie takie jest ważne, ponieważ ułatwia zarządzanie bilansem dyspersji chromatycznej w praktycznych układach laserowych. Wyodrębniony soliton wykazał przestrajalność bazującą na zmianie mocy wejściowej poprzez zakres widmowy od 1560 nm (długość fali pompy) do 2400 nm przy pompowaniu impulsami laserowymi 90 fs z lasera femtosekundowego. Takie solitonowe źródło światła oparte na przesunięciu częstotliwości środkowej impulsu może być wykorzystane np. jako źródło sygnału w systemach wzmacniaczy dla długości fal SWIR których nie można łatwo osiągnąć za pomocą komercyjnych laserów ultraszybkich.

Drugim wynikiem tej rozprawy jest demonstracja generacji superkontinuum o niskim poziomie szumu kwantowego poprzez zaprojektowanie światłowodu zachowującego polaryzację w celu bezsolitonowej propagacji impulsów femtosekundowych. Włókno zostało zaprojektowane z całkowicie normalną dyspersją chromatyczną poprzez zoptymalizowanie fotonicznej sieci heksagonalnej. Został również opracowany wariant włókna utrzymujący polaryzację (polarisation maintaining - PM) poprzez strukturalne wprowadzenie dwójłomności. Oba włókna umożliwiły generację szerokiego widma superkontinuum, które następnie badano pod kątem szumu impuls-do-impulsu przy użyciu techniki dyspersyjnej transformacji Fouriera (DFT) w czasie rzeczywistym. Pomiary szumu w czasie rzeczywistym wykazały, że superkontinuum generowane we włóknie PM ma mniej szumu impuls-do-impulsu w porównaniu superkontinuum wygenerowanego w wariancie światłowodu bez intencjonalnej dwójłomności. W ten sposób z powodzeniem zademonstrowano możliwość wykorzystania włókna PM do generowania koherentnego superkontinuum o szerokości oktawy z niskim poziomem szumów.

Trzecim wynikiem badań zaprezentowanym w tej rozprawie, jest zaprojektowanie włókna z nieliniową dynamiką propagacji światła prowadzącą do quasi-okresowego czasowego przekształcania wejściowych impulsów femtosekundowych. Zjawisko to zostało zaobserwowane w światłowodzie w szerokim zakresie mocy średniej impulsów wejściowych. Zademonstrowane przekształcenie czasowe osiągnięto w wielomodowym światłowodzie z gradientową zmianą współczynnika załamania (Graded index - GRIN) opartym na szklach tellurowych. Włókno to badano pod kątem dynamiki czasoprzestrzenno-spektralnej impulsów femtosekundowych lasera wejściowego. Zarejestrowane wyniki pokazały, że zaobserwowana dynamika nie jest spowodowana efektami samooczyszczania

modów, jak wcześniej opisywano dla długich impulsów laserowych (nanosekundowych). Dynamika ta może być raczej przypisana naprzemiennemu wpływowi ujemnej dyspersji prędkości grupowej i samomodulacji fazy z dodatnią dyspersją prędkości grupowej. Sprawia to, że włókno GRIN, w funkcji mocy wejściowej, działa jak klasyczny kompresor siatkowy impulsu. Opracowane włókno tellurowe GRIN pozwoliło również na generację impulsów o widmie superkontinuum i szerokości pełnej oktawy w różnych warunkach pompowania laserowego. Wytworzony ten sposób światłowód tellurowy pozwala na szeroką swobodę manipulacji spektralnej, przestrzennej i czasowej ultrakrótkich impulsów laserowych, co pokazuje duży potencjał dla zastosowań laserowych o dużej mocy, wymagających szerokopasmowych źródeł światła, stabilnej przestrzennie wiązki lub światłowodowych kompresorów siatkowych.